PART4 宇宙の距離はしご

目標　天体の距離を測定するための代表的な方法を挙げ，どのような天体に用いるかを含めて説明できる。

Chapter1　宇宙の距離はしご

これまでに，宇宙にあるさまざまな距離の天体について学んできました。ここでは，天体の距離の測定法について学びましょう。

幾何学的な方法

・**年周視差による距離測定**

年周視差が距離に反比例することを用いて，恒星の距離を測定する。地球から数万光年までにある恒星の距離が求められている。

恒星の周期的な光度変化を用いる方法

・**脈動変光星**

赤色巨星がヘリウムの核融合を起こしているとき，恒星の大気が不安定になって膨張と収縮をくり返すことがある。それに伴って光度を変化させている恒星を**脈動変光星**という。

・**周期光度関係**

一部の脈動変光星は，変光周期と平均光度との間に一定の関係をもつことが知られている。この関係を**周期光度関係**という。

種類の例	恒星の種族	おもな星団
ケフェウス座δ型	（Ⅰ / Ⅱ）	（散開星団 / 球状星団）
こと座 RR 型	（Ⅰ / Ⅱ）	（散開星団 / 球状星団）

・**周期光度関係による距離測定**

星団に属する脈動変光星の変光周期から絶対等級を推定することで，見かけの等級と組み合わせて距離を求めることができる。

知っておこう

1908 年，アメリカのリービット (Henrietta Swan Leavitt) は，大マゼラン雲と小マゼラン雲に含まれる 1777 個の変光星をまとめた論文に，明るい変光星ほど変光周期が長いことを記しました。彼女はその後も変光星の研究を続け，現在も利用されている距離測定の基礎を構築しました。

知っておこう

1918 年，アメリカのシャプレー (Harlow Shapley) は，脈動変光星の周期光度関係を用いて求めた球状星団の分布をもとにして，銀河系の構造やその中での太陽の位置を明らかにしました。

脈動変光星は，地球から（数百万光年 / 数億光年 / 数百億光年）までにある星団の距離の推定に利用できる。

> 知っておこう
> 銀河系から最も近い銀河であるアンドロメダ銀河は，銀河系から約 250 万光年の距離にあります。
> 脈動変光星を利用すれば，銀河系内の星団だけでなく，他の銀河までの距離も推定できるのです。

特徴的な天体の光度を用いる方法

・Ia 型超新星

白色矮星と赤色巨星が近い距離で連星となっているとき，赤色巨星から白色矮星へと物質の流れが生じる。これによって白色矮星の質量が約 1.4 太陽質量を超えると，白色矮星が不安定となって爆発する。この爆発による超新星を **Ia 型超新星**という。

・Ia 型超新星による距離測定

Ia 型超新星の最大光度はほぼ一定であることが知られているため，銀河内に Ia 型超新星が出現すれば，その絶対等級を見かけの等級と組み合わせて距離を求めることができる。

Ia 型超新星は，地球から（数十万光年 / 数十億光年）までにある銀河の距離の推定に利用できる。

> 知っておこう
> Ia 型超新星は，1 つの銀河につき数年〜数万年に 1 回程度の頻度で現れると考えられています。そのため，距離を求めたい銀河に対してつねに利用できるというわけではないという点には注意が必要です。

宇宙の距離はしご

・宇宙の距離はしご

年周視差によって，地球に近い脈動変光星の距離を求める

→脈動変光星によって，地球に近い銀河の距離を求める

→ Ia 型超新星によって，地球から遠い銀河の距離を求める

のように，距離測定法をつなぎ合わせることで，遠方の天体の距離を推定することができる。これを宇宙の距離はしごという。

> まとめ
> ・地球に近い恒星の距離は，＿＿＿＿＿を用いて測定することができる。
> ・銀河系内外の星団の距離は，＿＿＿＿＿の周期光度関係を用いて推定することができる。
> ・遠方の銀河の距離は，連星を構成していた白色矮星が爆発して生じる＿＿＿＿＿の光度から推定できる。

Chapter2　演習問題

次の表は，2つのケフェウス座δ型変光星A，Bについての観測結果です。ここでは，この例を用いて宇宙の距離はしごについて確認しましょう。

ただし，$\log_{10} 2 = 0.3$，$\log_{10} 3 = 0.5$ とします。

	年周視差	見かけの等級	変光周期
変光星A	0.0020秒角	4.0等級	3.0日
変光星B	0.0025秒角	0.5等級	30日

問題(1)　年周視差を用いた距離測定と絶対等級の推定について述べた次の文章中の空欄［　**ア**　］～［　**エ**　］に入る数値を答えましょう。

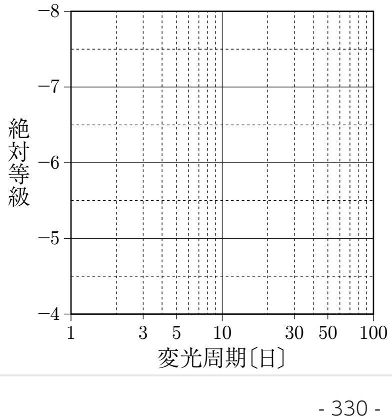
年周視差の観測結果をもとに，変光星Aの距離は［　**ア**　］パーセクと求められる。また，絶対等級をM，見かけの等級をm，距離をd〔パーセク〕としたときの関係式

$$m - M = 5 \log_{10} \frac{d}{10} \qquad \cdots\cdots①$$

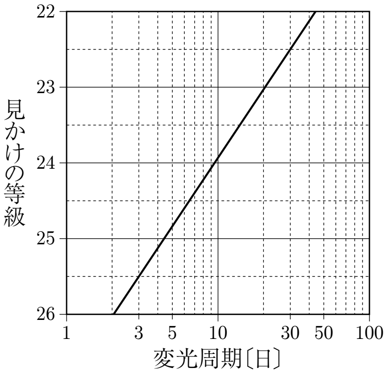
を用いると，変光星Aの絶対等級は［　**イ**　］等級と求められる。

同様にして，変光星Bの距離は［　**ウ**　］パーセク，絶対等級は［　**エ**　］等級であることがわかる。

問題(2)　問題(1)の結果と表をもとにして変光星A，Bのデータを次の図に●で示し，2つの●を通る直線を描きましょう。



問題(3) 次の図は，ある銀河Gについて，ケフェウス座δ型変光星の周期光度関係を求めたものです。銀河Gの距離について述べた下の文章中の空欄［ **オ** ］に入る数値を答えましょう。



ケフェウス座δ型変光星の周期光度関係が**問題**(2)の直線で表されるものとする。このとき，銀河Gに属するさまざまな変光周期のケフェウス座δ型変光星のそれぞれについて**問題**(1)の①式が成り立つと考えることができる。変光周期によらず$m-M$の値は一定であり，銀河Gの距離は［ **オ** ］パーセクと求められる。

問題(4) Ia型超新星による距離測定について述べた次の文章中の空欄［ **カ** ］に入る数値を答えましょう。

Ia型超新星は，最大光度がほぼ一定であることが知られている。すなわち，Ia型超新星の最も明るくなったときの絶対等級は一定だとみなすことができる。

問題(3)の銀河Gと，別の銀河Hでは，ほぼ同時にIa型超新星が観測された。それらのIa型超新星が最も明るくなったときの見かけの等級を比較したところ，銀河Hのものの方が10等級大きかった。このことをもとにすると，銀河Hの距離は［ **カ** ］パーセクと求められる。

第 21 講 PART4 確認問題

問 1 次の文章を読み，下の問いに答えよ。

天体の距離を測定するにはいくつかの方法がある。まず，幾何学的な方法として，a 年周視差を用いた方法があり，近傍の恒星までの距離がわかる。次に，（ ア ）の b 周期光度関係を利用する方法では，銀河系内外の星団までの距離を測定できる。赤色巨星と連星をなす白色矮星の爆発による（ イ ）の最大光度がほぼ一定であることを用いる方法では，さらに遠くの銀河までの距離の推定が可能である。

(1) 下線部 a について，この方法は年周視差のどのような性質を利用しているか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 距離に比例する。
② 距離の 2 乗に比例する。
③ 距離に反比例する。
④ 距離の 2 乗に反比例する。

(2) 空欄アに入る語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 食連星　② 原始星
③ 主系列星　④ 脈動変光星

(3) 下線部 b について，周期光度関係の説明として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 変光周期と絶対等級の関係
② 変光周期と見かけの等級の関係
③ 公転周期と絶対等級の関係
④ 公転周期と見かけの等級の関係

(4) 空欄イに入る語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 白色矮星　　② 赤色巨星

③ Ⅰa型超新星　　④ クェーサー

第 21 講　銀河と宇宙

PART1　銀河系の構造

問題(1)　円盤部，バルジ，星間物質

問題(2)　球状星団，3 万光年，7.5 万光年

問題(3)　電波，電波や赤外線，X 線

PART2　銀河系の天体の運動

問題(1)　$\frac{1}{8000}$ 秒角，1.0×10^{10}，2 億年

問題(2)　ア：$\frac{2\pi a}{P}$　イ：$\frac{av^2}{4\pi^2}$

a，比例

PART3　さまざまな銀河

問題(1)　−22，クェーサー

問題(2)　棒渦巻き銀河，紫外線，赤外線，セイファート銀河

問題(3)　楕円銀河，電波銀河

PART4　宇宙の距離はしご

問題(1)　ア：500　イ：−4.5　ウ：400　エ：−7.5

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　オ：10^7

問題(4)　カ：10^9

PART5　宇宙の階層構造

問題(1)　30′

ア：120

問題(2)　8 分 20 秒

イ：60000

問題(3)　①：A　②：B　③：D　④：F　⑤：H　⑥：I　⑦：J

PART6　ハッブル・ルメートルの法則

問題⑴　70，1Mpc

問題⑵　ア：vt_{H}　イ：$\frac{1}{H_0}$　ウ：1×10^{10}

問題⑶　$1 + z$

PART7　宇宙の誕生と進化

問題⑴　ア：0.06　イ：8　ウ：0.94

問題⑵　小さい，加速

問題⑶　70 ~ 60，減速，加速，ダークエネルギー

第21講　PART4　確認問題　解答

問1

(1)　③

解説：
年周視差の大きさは距離に反比例するため，近傍の星に対してはこの方法が使われる。

(2)　④

解説：
赤色巨星がヘリウムの核融合を起こすと，大気が不安定になって膨張と収縮をくり返すことがあり，それに伴って光度を変化させる。このような恒星を脈動変光星という。

(3)　①

解説：
周期光度関係は，脈動変光星の変光周期と絶対等級の間の関係である。変光周期から絶対等級を推定し，見かけの等級と組み合わせると距離を求めることができる。

(4)　③

解説：
白色矮星と赤色巨星が近距離で連星になっているとき，赤色巨星から白色矮星へ物質が流れて，白色矮星の質量が大きくなると不安定となって爆発する。この爆発による超新星をⅠa 型超新星という。